

地域情報共有システム wikiLocation における 誤推定の局所性に着目した測位結果補正手法の提案

兼清 裕平[†] 早川 裕志[†] 田頭 茂明^{††} 中西 恒夫^{††} 福田 晃^{††}

[†]九州大学大学院システム情報科学府

^{††}九州大学大学院システム情報科学研究所

E-mail: †{y.kanekiyo,h2,shigeaki,tun,fukuda}@f.csce.kyushu-u.ac.jp

あらまし 本稿では、筆者らが開発している地域情報共有システム wikiLocation のための位置推定システムにおける推定誤差を効率的に補正する手法について述べる。従来の無線 LAN を用いた位置推定システムでは、学習データの不足や受信信号強度の一時的な変化による推定精度の低下が問題とされている。そこで、位置推定システムにおける誤推定の局所性に着目し、ユーザ同士が協調することで推定結果を補正する手法を提案する。具体的には、位置推定システムによる推定位置に、ユーザによる過去の修正位置に関連づけた情報をデータベースに蓄積する。位置推定システムが推定位置を出力するとともに、その位置に関連づけられた修正位置を明示的に表示することで推定位置の補正のユーザビリティを高める。

キーワード 位置推定, ユーザ協調, 情報共有

A Location Correction Technique Applying Geographical Locality in Estimation Errors for wikiLocation

Yuhei KANEKIYO[†], Hiroshi HAYAKAWA[†], Shigeaki TAGASHIRA^{††}, Tsuneo NAKANISHI^{††},
and Akira FUKUDA^{††}

[†] Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University.

^{††} Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University.

E-mail: †{y.kanekiyo,h2,shigeaki,tun,fukuda}@f.csce.kyushu-u.ac.jp

Abstract This paper describes an efficient mechanism for correcting estimation errors inherent in existing WLAN-based localization systems. One of major problems in such localization systems is to degrade the estimation accuracy due to lacks of sufficient training data and temporal changes in received signal strength indications. We propose a location correction technique based on geographical locality of the estimation errors. This proposed correction technique is designed for exploiting users collaboration to improve the efficiency of the correction. More specifically, each surveyed location is associated with knowledge of error corrections that have been conducted by users, and is stored into a database. The system improves the usability of users' correction by presenting the knowledge corresponding to the estimated location.

Key words Location estimation, User collaboration, Information sharing

1. はじめに

無線ネットワークの飛躍的な普及に伴い、ユーザは小型端末を用いて、屋内だけでなく屋外においてもネットワークサービスを楽しめるユビキタスネットワーク基盤が整いつつある。特に、屋外環境では携帯電話網が幅広く展開されていることに加えて、WiFi 網がホットスポット的に展開されるなど、状況に

応じて適切なネットワークを選択することが可能となっている。しかしながら、屋外ネットワークの利用は、キラーアプリケーションが少ないことが原因で、期待されたほど多岐に広がっておらず、屋内ネットワークの延長であるのが現状である。従って、屋外ネットワークの新しい利用形態の創出は、ユビキタスネットワーク全体の進展および更なる実用化のための重要なステップとして位置付けることができる。

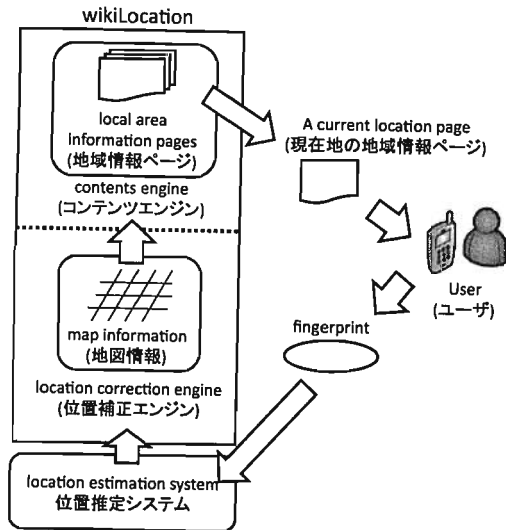


図1 wikiLocation の構成

本研究では、ユビキタスネットワーク環境において、wikiベースの地域情報共有システム **wikiLocation** を開発している。このシステムでは、地域をエリアに分割し、各エリアの wiki ページを用意することで、エリアに関する情報をユーザが自由に編集、閲覧できるサービスを提供する。これにより、ユーザ同士が協調して地域情報を付加した地図を作り上げ、地域情報+地図情報を共有することが可能となる。また、位置推定システムを利用することで、ユーザは自身の現在地に関するページにアクセスし、現在地の情報を容易に編集、閲覧できる。このような **wikiLocation** を利用することで、その土地に初めて訪れた観光客は地域情報を簡単に入手でき、より有意義な観光ができる。例えば、現在地の近くにあるお店のレビューを閲覧することで自分の嗜好性に合った店が容易に確認できたり、土地勘のあるユーザが編集した情報を閲覧することで、よりスムーズに観光できる。また、**wikiLocation** は、ユーザ同士が地域情報を共有し、更新するサービスを提供することでその地域の発展にも貢献する。

wikiLocation のシステムは、位置補正エンジン、コンテンツエンジンの2つの部分で構成される(図1)。また、**wikiLocation** を動作させるために、ユーザ端末の現在地を取得する位置推定システムの導入を想定している。コンテンツエンジンは、各エリアに関する様々な情報が書かれたページを管理する。また、位置補正エンジンでは、位置推定システムの測位結果に誤差が含まれている場合に、その誤差を訂正する。

wikiLocation では、位置推定システムとして特別なデバイスが必要とせず、屋外だけでなく屋内でも利用できる無線 LAN を用いた位置推定システムに着目している。無線 LAN を用いた位置推定手法には様々なものがあるが[2]、特に確率的手法を用いたシーン解析法が幅広く利用されている[6]~[8]。しかしながら、それらの手法を用いた推定精度の向上には限界があると考えている。よって、位置推定システムの測位結果には誤推

定が含まれると仮定し、この誤推定を **wikiLocation** の位置補正エンジンで、人手を介して補正することを考えている。

本稿では、位置補正エンジンでどのように誤推定を補正するのかを説明する。提案手法の主なアイデアは、過去にユーザが補正した情報を蓄積し、その情報を基に正しい位置へと誘導するユーザ協調型の仕組みを提供することである。提案手法では、位置推定システム自体は改良せず、位置推定に必要な学習データとは別に、位置推定システムによる推定位置とユーザによる修正位置を蓄える。推定位置と修正位置の関連づけに誤推定ランク (EER: Estimation Error Rank) を導入し、修正位置の局所性の指標として用いる。

本稿の構成は以下のとおりである。第2章では、無線 LAN を用いた位置推定手法の関連研究を紹介する。第3章では、位置推定エンジンの誤推定に局所性があることを示すための事前実験を行い、第4章では、第3章の結果を考慮し、位置推定エンジンの局所性を考慮した補正手法を提案する。最後に第5章においてまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

本章では、無線 LAN を用いた位置推定手法に関する関連研究を紹介する。既存研究では、確率的な手法を用いた位置推定手法[3]、[6]~[8]、ユーザ同士が協調することによって推定に必要なデータを収集する手法[3]、[4]、ユーザによる誤推定の補正[5]、推定誤差を用いた位置情報サービスのユーザビリティの向上[11]が研究されている。

2.1 シーン解析法による位置推定

無線 LAN を用いた位置推定手法には、最近傍法、三角測量法、シーン解析法などがある[1]。位置推定の基本的なアイデアは、位置を推定したい端末がある地点で電波を受信できるアクセスポイント (AP: Access Point) を観測し、その観測データのパターンから現在地を推定することである。特に、シーン解析法は、他手法と比べ、推定精度が優れている点からその実用性が期待されている。

シーン解析法の位置推定プロセスは、学習フェーズと推定フェーズの2つに分けられる(図2)。学習フェーズでは、位置推定の対象となる全ての地点で、観測できる AP の集合 (fingerprint) を収集する。一般的に、fingerprint は、AP の識別子と受信信号強度の組で構成されており、本稿では、特に断りが無い限り、fingerprint はある地点で観測された AP 集合の識別子と受信信号強度の組のことを言う。そして、収集した fingerprint からデータを抽出し、学習データとしてデータベースに蓄える。学習データとして何を蓄えるかは各位置推定手法で異なる。推定フェーズでは、端末が観測した fingerprint を推定に用いる。そして、学習フェーズで構築したデータベースと照合し、端末の現在地を推定する。先ほども述べたが、シーン解析法は、比較的精度の高い位置推定手法として知られている。しかし、高精度な位置推定には十分な学習データが必要である。このため、シーン解析法を用いた位置推定システムを運用する場合、学習データを十分に収集するため、管理者の時間と労力が必要となる。

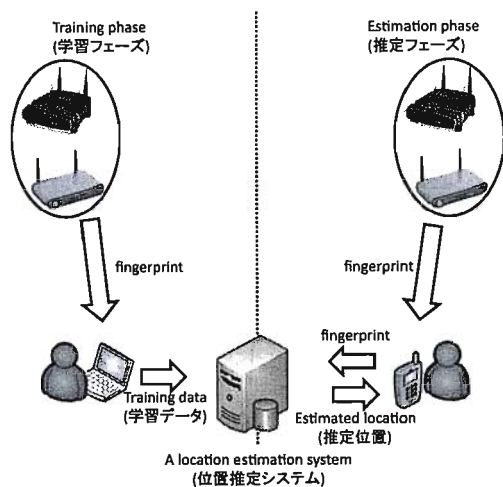


図2 シーン解析法による位置推定システム

2.2 確率的な推定手法

推定フェーズで実施されるデータベースとの照合において、確率的な手法を適用し、推定精度を向上させる研究が行われている。文献[6]では、受信信号強度の時間変化に着目し、ベイズ推定を用いる手法が提案されている。この手法では、学習データとして fingerprint とそれが観測された地点情報を利用する。ベイズ推定を用いる利点はマルチパスによるフェージング、アンテナ利得や指向性といった要因で受信信号強度値が変化する問題に対処できる点である。また、ベイズ推定に関する研究として、位置推定に用いる AP を選択し、ベイズ推定によって高精度な位置推定を実現する研究[7]や、確率的な手法が抱える推定演算のコストの問題を解決するアルゴリズムに着目した手法[8]なども提案されている。さらに、シーン解析法ではないが、Place Lab[3]では、位置推定システムの利用範囲を広げるため、APの密度が疎である地域や、学習データが少ない場合でも安定した推定精度を実現する Particle Filter が導入されている。Particle Filter は確率的な手法の一つであり、この手法に対する都市域での実証実験による評価が行われている[9]。この評価では、他の確率的な手法と比べ、Particle Filter はどのような場合でも高い推定精度を達成できることが示されている。

上記のような確率的な手法を導入することにより、受信信号強度の時間的な変化による影響は抑えることができる。しかし、確率的な手法だけでは受信信号強度の変化に対処できない多くの場合が存在する。例えば、都市域では、夏季の長期的な休校といった社会的な要因により、観測される AP 数が増減する[9]。また、人の集団の中で位置推定を行えば、観測地点周辺の人に受信信号強度が影響を受け、推定精度が低下することが指摘されている[10]。このように、様々な要因で受信信号強度は常に変化するために、それらの全てを考慮した位置推定を実現することは非常に困難であり、無線 LAN を用いた位置推定における推定精度の向上には限界があると言える。文献[9]では、都市域で位置推定システムの評価実験を行った結果、位置推定システムを運用する環境に応じて適用する位置推定手法を変える

べきだと述べている。

2.3 集合知を利用した学習データの収集

2.1 節でも述べたが、シーン解析法では推定精度を向上させるために多くの学習データを収集する必要がある。シーン解析法ではないが、ユーザの集合知を利用することで学習データを収集する手法が提案されているので紹介する。Place Lab[3]、および Place Engine[4]では、学習データとして GPS で取得した AP の緯度経度情報をデータベースに保存する。そして、AP の緯度経度情報と距離に反比例する特性をもつ受信信号強度から三角測量法を用いて位置を推定する。Place Lab[3]では、位置推定システムの管理者だけでなく、ユーザがデータベースに学習データを登録できる。これにより、位置推定システムを運用する管理者の人的コストを削減し、位置推定に必要なデータを収集することができる。一方、Place Engine[4]では、推定フェーズにおいて、位置が不明な AP が見つければ、その AP の位置も推定し、データベースに登録する。また、位置推定の際にユーザから送られた最新の受信信号強度値を元に、データベースに蓄えられた AP の位置情報を適宜、更新することで学習データ収集における位置推定システムの自律性を増している。しかし、無線 LAN 搭載機器から観測される受信信号強度値は、無線 LAN アダプタの機種によって異なるので、多数のユーザによって AP の位置情報が更新されても、受信信号強度を観測する機器が異なれば、学習データは増加するが、推定精度は向上しにくい。

2.4 ユーザによる補正と推定誤差の明示

ユーザに推定位置を修正させ、その情報を位置推定システムにフィードバックすることで推定精度を向上させる研究が行われている。文献[5]の提案手法では、従来の位置推定システムが蓄える情報だけでなく、推定フェーズにおけるユーザが行った推定位置の補正情報もデータベースに蓄える。具体的には以下の手順を踏む。まず、ユーザは位置推定システムで現在地を推定する。推定位置が現在地と違う場合、ユーザは正しい位置を入力する。位置推定システムは入力された位置情報とその場所で観測された fingerprint、ユーザ ID、機器の情報、時間を VAP (Virtual Access Point) として蓄える。そして、次の推定から、位置推定システムは、まず、ユーザから送られた情報と近い情報を保持する VAP がいないか検索する。あれば、その VAP に登録されている位置を推定位置として返す。なければ、従来通り、ユーザから送られた fingerprint と学習データを比較、計算し、推定位置を返す。同一場所で異なる VAP が登録された場合、その VAP は登録したユーザしか参照できない情報として登録される。あるユーザが位置推定する際に、そのユーザ自身が登録した VAP が用いられることで推定精度の低下を防ぐ。また、万が一、悪意のあるユーザが間違った情報を登録しても、他のユーザには影響を及ぼさない。

推定手法の改良やユーザのフィードバックにより、推定精度を上げることで位置推定システムを利用するサービスの利便性は向上する。しかし、ユーザに推定誤差を明示するだけでも利便性は向上することが知られている[11]。一般的に確率的な手法を用いた位置推定システムでは、最も確率の高い推定位置の

み出力し、他の候補位置は無視される。文献[11]では、推定誤差を減らすのではなく、位置推定システム内で処理される推定誤差をあえてユーザに明示する。具体的には、推定位置を1ヶ所表示するのではなく、ある閾値以上の確率である推定位置を推定エリアとして表示する。これにより、位置推定システムを利用するサービスの利便性の向上が実験によって示されている。また、文献[11]では、推定誤差を計算する手法を提案し、その評価も行っている。

本稿では、文献[5],[11]の提案手法をもとにベイズ推定を用いた位置推定システムの誤推定の局所性に着目し、ユーザが推定結果の補正を行う手法を提案する。これにより、位置推定システムを利用するサービスの利便性を向上させる。

3. 事前実験

本章では、確率的手法を用いた位置推定システム、特にベイズ推定による位置推定システムの性能を事前実験を通して評価する。評価尺度として、測位精度と誤推定の傾向を用いる。

3.1 実験環境

実験のために、ベイズ推定による位置推定システムを実装した。この位置推定システム用いて九州大学伊都キャンパスのウェスト2号館7階(図3)で実験を行った。図3中の丸印は、学習フェーズにおいてfingerprintを収集した地点を示す。隣接する地点間の距離は、直線距離でおよそ6m離れている。図3の場所にはAPが多数配置されており、実験のために新たなAPを設置していない。本実験では、ノートPC(Panasonic製Let's note CF-R3, Windows XP SP2)を端末として用いた。無線LANカードは、ノートPCに内蔵されているIntel製PRO/Wireless 2915ABGを用いた。

学習フェーズでは、各位置ごとにfingerprintを30サンプルずつ計14ヶ所で収集した。この学習後、fingerprintを収集した地点と同一地点で位置推定を5回ずつ行った。推定フェーズでは、まず、1回の推定あたり、fingerprintを5回観測する。そして、5回観測した受信信号強度の平均値とAPの識別子を位置推定システムに送り、推定位置を得る。

3.2 結果

表1に実験結果を示す。表中の項目、位置(推定位置)列内の数字は図3中の丸印(学習および推定を行った地点)に割り振られた数字に対応している。例えば、地点1における位置推定では、5回とも誤推定である。そのうち、地点7であると4回、地点14であると1回推定されている。表1の結果から、平均正答率は55.7%であり、隣接地点との誤答(誤差±6m)を含めると75.7%となった。特に、地点1から5および地点14において誤推定の局所性があることがわかる。例えば、地点1では80%程度、地点7と間違え、地点2でも同様80%程度、地点5と間違えていることがわかる。

4. 誤推定の局所性に着目した補正手法

誤推定に局所性があることを3.2節の実験結果(表1)で示した。本章では、この誤推定の局所性に着目した測位結果の補正手法を提案する。

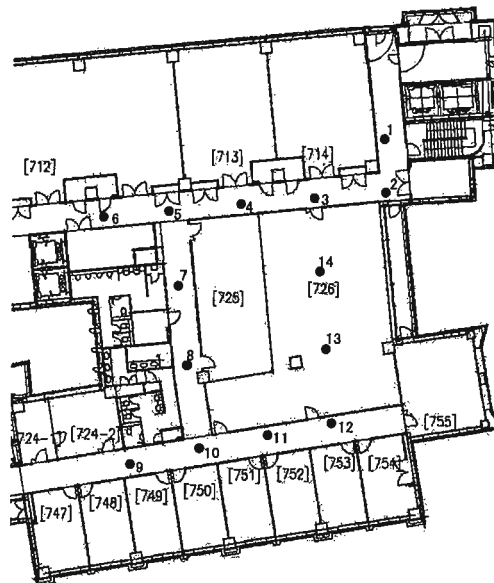


図3 実験環境

表1 実験結果

位置	正答回数	誤推定		位置	正答回数	誤推定	
		推定位置	推定回数			推定位置	推定回数
1	0	7	4	7	5		
		14	1	8	4	10	1
2	0	5	4	9	5		
		6	1	10	5		
3	0	2	3	11	5		
		5	2			11	2
4	1	5	3	12	2	10	1
		8	1	13	5		
5	2	8	3	14	0	8	3
6	5					3	2

4.1 概要

第2章でも述べたが、受信信号強度の時間的変化による推定精度の低下を防ぐ確率的手法を用いたとしても無線LANを用いた位置推定の精度には限界があると考えている。そこで、位置推定システムの測位結果には誤推定が含まれると仮定し、この誤推定をより上位の層で、人手を介して補正することを考えている。提案手法の主なアイデアは、過去にユーザが補正した情報を蓄積し、その情報を基に正しい位置へと誘導するユーザ協調型の仕組みを提供することである(図4)。すなわち、ある地点でユーザが測位結果を修正した場合、他のユーザが同じ地点で同様の修正をすることが誤推定の局所性から予想できる。そこで、過去に蓄積した補正情報をもとに、より効率的に正しい位置に補正する仕組みを開発することを目的としている。

具体的には、測位結果がユーザにより修正されたとき、推定位置とユーザによる修正位置を関連づける。ある推定位置に対して同じ修正が繰り返されるたびに、データベースに蓄えている推定位置と修正位置の関連を強める。推定位置と関連づけられた修正位置を推定結果とともにユーザに提示することにより、あるユーザの修正位置をもとに他のユーザは推定位置の修正が可能となる。これにより、ユーザが協調して推定位置の修正を

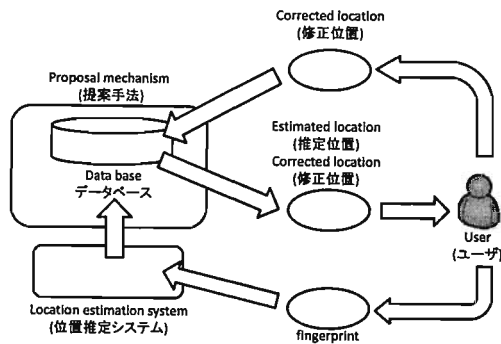


図4 提案手法の概要

行うことで補正の質を高める。また、推定位置が表示されただけではそれが正しいか判断できないユーザに対して、推定位置と関連のある位置を表示することで、正しい位置がどこであるか判断する手助けをする。

4.2 EERの導入

4.1節で述べた推定位置と修正位置との関連づけを誤推定ランク (EER: Estimation Error Rank) として表現する。すなわち、ある推定位置に対して複数のユーザから修正が行われ、かつその修正位置が同じ場合、推定位置と修正位置の関連が強いと定義し、推定位置に対する修正位置の EER 値を大きくする。逆に、その関連が弱いときは、EER 値を小さくする。推定位置と関連のある位置をユーザに明示するとき、この EER 値でソートし、表示することで、ユーザの補正作業をより容易にすることができる。この EER 値は単純にユーザによる修正回数を用いて定義すると、悪意のあるユーザが間違った修正を何回も行った場合、EER の値によるソートは意味を成さなくなる。EER への影響をできるだけ小さくするため、ある回数以上の同一ユーザからの修正は、EER の値に反映しないようにする。具体的な EER 値の定義式は今後の課題とする。

4.3 構成

提案手法を用いた位置補正エンジンの構成を図5に表す。本手法では、推定位置の修正を位置補正エンジンにフィードバックし、位置推定システム自体に影響を与えることはない。従来までの研究では誤推定を位置推定システムにフィードバックし、誤推定が起こらないように確率構造を変化させていた。しかしながら、そのフィードバックは誤推定の様々な要因を含む(シャープでない)確率構造となり、その精度を悪化させてしまうと考えている。従って、位置補正エンジンは位置推定システムとは独立した機能として提供する。また、提案する位置補正エンジンは、wikiLocation の一部の機能として提供される。従って、ユーザインタフェースは web ベースの wiki システムをもとに作成する。

システムの動きとしては、まず、位置補正エンジンから推定結果を入力として受け取り、それをキーとして関連のある修正位置を検索する。そして、位置推定システムの推定位置と誤推定ランク値でソートされたユーザによって関連づけられた位置(修正位置)をユーザに明示する。ユーザによる修正があれば、

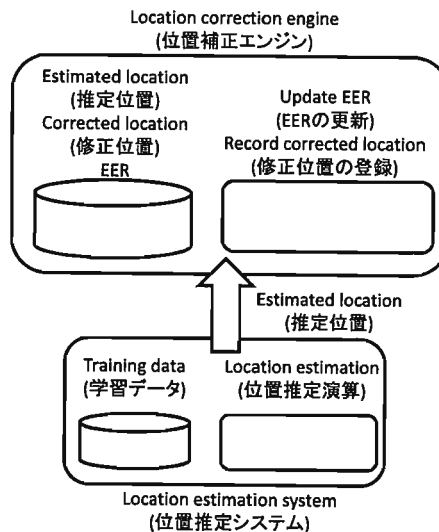


図5 提案手法を用いた位置補正エンジンの構成

EER 値の更新や修正位置をデータベースに保存する。

5. まとめと今後の課題

本稿では、まず、我々が開発している地域情報共有システム wikiLocation について述べた。wikiLocation は、コンテンツエンジンと位置補正エンジンで構成され、ユーザに地域情報+地図情報を共有するサービスを提供する。また、無線 LAN を用いた位置推定システムを導入することで屋内・屋外問わず現在の情報を容易に閲覧できる。そして、上記の wikiLocation を構成する位置補正エンジンを実現するために、位置推定システムの誤推定をユーザ同士が協調し、補正する手法を提案した。

提案手法では、位置推定システムの推定位置をユーザが修正した際に、推定位置と修正位置を関連づけ、蓄える。そして、推定結果として位置推定エンジンの推定位置とユーザによる修正位置を提示する。これにより、あるユーザの修正位置をもとに他のユーザは推定位置の修正が可能となる。加えて、推定位置が表示されただけではそれが正しいか判断できないユーザを正しい位置まで導く手助けを行う。本手法では、ユーザによる修正を位置推定システムにフィードバックしない。フィードバックをすると、様々な要因で起こる受信信号強度の時間的変化により、かえって推定精度が低下するので、位置推定システムとは独立してユーザに補正する仕組みを提供する。

また、推定位置と修正位置を関連づけるために、誤推定ランク (EER: Estimation Error Rank) を導入した。ある推定位置に対して複数のユーザから修正が行われ、かつその修正位置が同じ場合、推定位置と修正位置の関連が強いと定義し、推定位置に対する修正位置の EER 値を大きくする。逆に、その関連が弱いときは、EER 値を小さくする。推定位置と関連のある位置(修正位置)をユーザに明示するとき、この EER 値でソートし、表示する。これにより、ユーザは EER 値を修正位置の正しさの指標として用いることができる。また、同一ユーザに

よる修正回数に制限を設け、EER の値に影響しないようにすることで悪意のあるユーザによる誤った修正によって EER の質が低下することを防ぐ。

今後の課題として、まず、より厳密な調査を行い、提案手法の正当性を示す。さらに、EER を定義し、提案手法の評価を行う。そして、wikiLocation を構成する位置補正エンジンを本稿の提案手法を用いて実現する。また、コンテンツエンジンも開発し、現在、福岡市の天神・大名地域で展開されている屋外ユビキタスネットワーク上で wikiLocation の実証実験を行いたいと考えている。

文 献

- [1] J. Hightower and G. Borriello, "Location Sensing Techniques," *IEEE Computer magazine*, pp. 57-66, 2001.
- [2] M. B. Kjaergaard, "A Taxonomy for Radio Location Fingerprinting," *Proc. the 3rd International Symposium on Location and Context-Awareness (LoCA 2007)*, pp. 139-156, 2007.
- [3] A. LaMarca, Y. Chawathe, S. Consolvo, J. Hightower, I. Smith, J. Scott, T. Shon, J. Howard, J. Hughes, F. Potter, J. Tabert, P. Powledge, G. Borriello, and B. Schilit, "Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild," *Proc. the 3rd International Conference on Pervasive Computing and Communications (Pervasive 2005)*, pp. 116-133, 2005.
- [4] 暦本純一, 塩野崎教, 末吉隆彦, 味八木崇, "PlaceEngine: 実世界集合知に基づく WiFi 位置情報基盤," インターネットコンファレンス 2006.
- [5] E. S. Bhasker, W. G. Griswold, "Employing User Feedback for Fast, Accurate, Low-Maintenance GeoLocationing," *Proc. the 2nd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (Pervasive 2004)*, pp. 111-120, 2004.
- [6] B. Li, J. Salter, A. G. Dempster and C. Rizos, "Indoor Positioning Techniques Based on Wireless LAN," *Proc. the 1st IEEE International Conference on Wireless Broadband and Ultra Wideband Communications*, pp. 13-16, 2006.
- [7] Seshadri, V. Zaruba, G. V. Huber, M. "A Bayesian sampling approach to in-door localization of wireless devices using received signal strength indication," *Proc. the 3rd IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2005)*, pp. 75-84, 2005.
- [8] 伊藤 誠悟, 河口 信夫, "アクセスポイントの選択を考慮したベイズ推定による無線 LAN ハイブリッド位置推定手法とその応用," *電学論 C*, Vol. 126, No. 10, pp. 1212-1220, 2006.
- [9] Yu-Chung Cheng, Y. Chawathe, A. LaMarca, "Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization," *Proc. the 3rd International Conference on Mobile systems, application, and services, (MobiSys 2005)*, pp. 233-245, 2005.
- [10] Li-wei Chan, Ji-rung Chiang, Yi-chao Chen, Chia-nan Ke, Jane Hsu and Hao-hua Chu, "Collaborative Localization: Enhancing WiFi-Based Position Estimation with Neighborhood Links in Clusters," *Proc. the 4th International Conference on Pervasive Computing and Communications (Pervasive 2006)*, pp. 50-66, 2006.
- [11] D. Dearman, A. Varshavsky, E. de Lara, and K. N. Truong, "An Exploration of Location Error Estimation," *Proc. the 9th International Conference on Ubiquitous Computing (Ubicomp 2007)*, pp. 181-198, 2007.